

метод емкостных измерений каждого параметра. WTX520 не подвержен загрязнению, переполнению и исключает потери на испарение.



Рис. 4. Преобразователь метеоданных Vaisala WXT520

Таким образом, функциональные возможности дорожных информационно-измерительных метеосистем на примере Vaisala Guardian позволяют оперативно и с высокой точностью определять основные метеоданные, что является основой для проведения своевременных работ по содержанию автомобильных дорог и снижению аварийности в результате изменений и ухудшений погодных условий.

УДК 625.07

Асп. Е.В. Моор, М.В. Бормотов  
Рук. С.И. Булдаков  
УГЛТУ, Екатеринбург

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ЗЕРНОВОГО СОСТАВА ПОРИСТО-МАСТИЧНОЙ АСФАЛЬТОБЕТОННОЙ СМЕСИ**

Изучение литературных источников [1] вызвало интерес к опыту применения пористо-мастичной асфальтобетонной (далее ПМА) смеси при устройстве покрытий автомобильных дорог в Германии. В 2014 г. ПМА смесь была применена в Казахстане городе Алматы [2]. В смесях ПМА, используемых в Германии и Казахстане, применялась структурирующая добавка импортного производства «Torcel add FT60».

В 2016 г. была выполнена научно-исследовательская работа, целью которой являлась разработка технологии получения и укладки ПМА смеси с использованием местных материалов Свердловской области. В качестве структурирующей добавки использовали специальные гранулы, состоящие

из волокон асбеста, базальта и полимерного воска, приготовленные на предприятии «Стилобит», в г. Асбест.

В 2017 г. изготовлена и уложена опытная партия ПМА-15 с целью проверки корреляции данных, полученных в лабораторных условиях, с результатами испытания при укладке ПМА-15 переменной толщиной слоя от 3 до 6 см.

В результате работы была подтверждена эффективность применения ПМА смеси с использованием местных материалов, разработана и апробирована технология укладки ПМА-15 с переменной толщиной слоя с сохранением ровности покрытия [3], получен первоначальный состав ПМА-15. Прделанная работа являлась начальной точкой отчёта в части исследований по оптимизации состава ПМА смесей и практической реализации покрытий из ПМА на территории Урало-Сибирского региона.

В настоящее время введено в действие большое количество нормативных документов, устанавливающих требования к качеству компонентов асфальтобетонных смесей (щебень, песок, минеральный порошок, битум), гармонизированных с Европейскими стандартами, дальнейшие исследования смесей ПМА проводились с использованием материалов, соответствующих этим требованиям.

Учитывая, что на современных дорогах с нормативной несущей способностью до 80 % разрушений автомобильных дорог возникают из-за воздействия шипованных шин [4], необходимо при разработке составов смесей в слоях покрытия использовать принцип «Камень против металла». Следовательно, для увеличения площади поверхности камня в асфальтобетоне необходимо применение крупных фракций щебня с размерами зёрен до 16 и 22 мм [5]. В Урало-Сибирском регионе средняя толщина покрытий составляет 5 см, для соответствующей толщины слоя наиболее оптимальным будет использование асфальтобетонных смесей с номинальным максимальным размером зерна 16 мм.

Результаты научно-исследовательской работы и анализ данных литературных источников [1, 2] позволил обосновать требования к составу смеси с номинальным размером зерна 16 мм (ПМА-16), технологию изготовления лабораторных образцов и методики исследования физико-механических свойств.

Для приготовления смеси ПМА-16 использовались щебень и песок из горной породы габбро, маркой по прочности 1400, применялся активированный минеральный порошок из известняка. В качестве комплексной добавки применили гранулы, состоящие из волокон асбеста, базальта и полимерного воска. Вяжущее состояло из битума марки БНД 70/100 совместно с присадкой «Амдор-ТС» в количестве 0,4 % массы битума. Из лабораторной пробы смеси ПМА-16 изготовили 3 образца на уплотнителе Маршала [6], при этом количество ударов молота было уменьшено до 20 и

уплотнение производили только с одной стороны образца. Визуально по образцам было определено, что количество мастичной части превышает объём пустот минерального заполнителя и мастика выступает за грани щебня (рис. 1), тем самым не выполняется обязательное условие для ПМА – стекание асфальтового вяжущего с верхней части образца в нижнюю. По результатам испытания, содержание воздушных пустот в образцах ПМА-16 составило 0,83 %, при требуемом значении от 3 до 7 %.

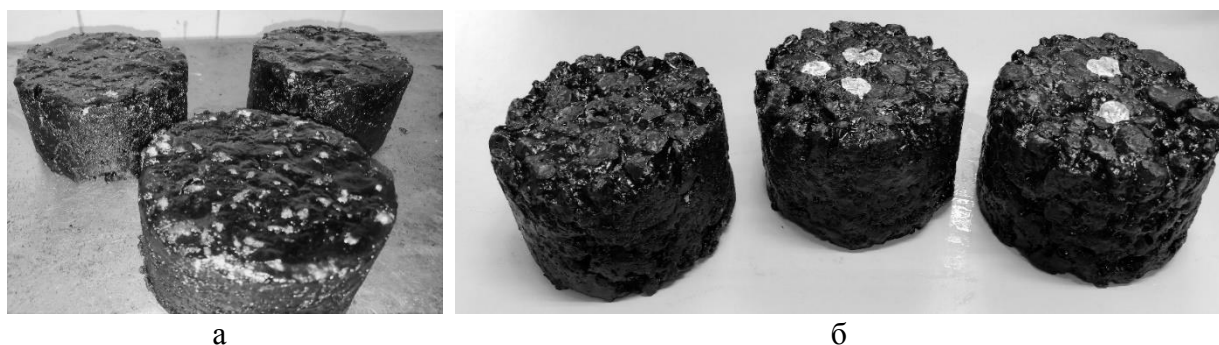


Рис. 1. Фотография образцов ПМА-16:  
а – вариант 1, б – оптимизированный зерновой состав

Для увеличения воздушных пустот необходимо увеличить объём пустот минерального заполнителя (далее ПМЗ). Для увеличения ПБЗ выполнили оптимизацию зернового состава путём применения метода Р. Бэйли [7]. Оценивали критерий СА, характеризующий щебёночный каркас, создающий самые крупные межзерновые пустоты. Оптимальный критерий СА для ПМА-16 установили в пределах от 0,3 до 0,45.

Критерий СА для первого варианта смеси ПМА-16 составил 0,122. У оптимизированного зернового состава критерий СА составил 0,36. Сравнительные графики зерновых составов ПМА-16 представлены на рис. 2.

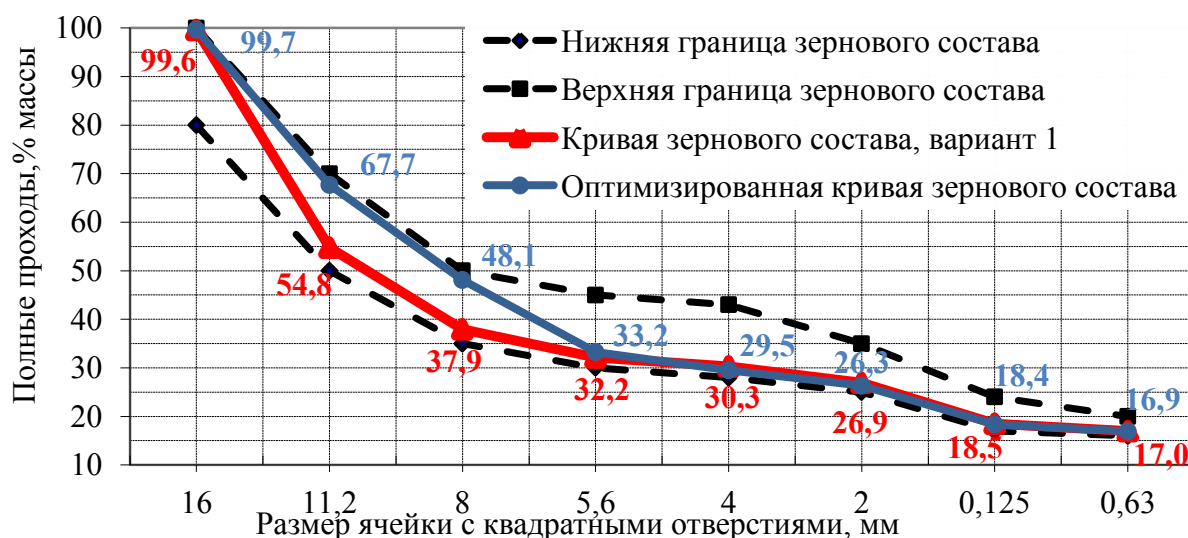


Рис. 2. Кривые зернового состава ПМА-16

Варианты составов ПМА-16 в таблице. По графикам зернового состава видно, что у двух вариантов одинаковое содержание щебня (количество частиц более 4 мм), и количество мелкого заполнителя, но при этом критерий СА увеличился в 3 раза, тем самым увеличилось объём ПМЗ, содержание воздушных пустот в образцах ПМА-16 увеличилось до 3,5%. На рис. 1 представлены фотографии образцов двух вариантов ПМА-16.

Составы смесей ПМА-16

Содержание компонентов смеси, % мас.						
Щебень фр. 11,2-16 мм	Щебень фр. 8-11,2 мм	Щебень фр. 4-8 мм	Песок 0-4 мм	Минеральный порошок	Комплексная добавка	Вяжущее
Вариант 1						
45	13	7	11	18	0,45	5,55
Вариант 2 с оптимизированным зерновым составом						
32	14	20	10	18	0,45	5,55

В результате работы получен оптимизированный состав ПМА-16, использован метод Р. Бейли для подбора щебёночного каркаса в смеси ПМА, установлено требование к критерию СА для ПМА-16. Дальнейшее исследование планируется провести для определения оптимального количества вяжущего и комплексной добавки.

#### *Библиографический список*

1. Бернд Я. Пористо-мастичные асфальтобетонные смеси: матер. конф. «Применение разновидностей дорожного асфальтобетона в России». 26–27 ноября. М., 2015.
2. Каганович Е.В., Холиков Н.М. Пористо-мастичные асфальтобетонные смеси: матер. конф. Опыт применения при устройстве покрытий и тонких слоев износа «Применение разновидностей дорожного асфальтобетона в России». 26–27 ноября. М., 2015.
3. Патент РФ № 2018112951, 09.04.2018. Способ укладки пористо-мастичного асфальтобетона / С.И. Булдаков, А.И. Распутин, Е.В. Моор [и др.] // Патент России № 2269312. 2019. Бюл. № 20.
4. URL: [http://www.dp.ru/a/2011/07/12/SHipovanaja\\_rezina\\_popadet](http://www.dp.ru/a/2011/07/12/SHipovanaja_rezina_popadet) (дата обращения 15.11.2019).
5. Штайнерт, У. Инновационные подходы в строительстве асфальтобетонных дорог в Германии и их значение для России – на примере дренажного асфальтобетона: материалы круглого стола «Развитие дорожного асфальтобетона» на международной выставке: «Дорога», 16–18 октября 2019. Екатеринбург, 2019.

6. ГОСТ Р 58406.9-2019. Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод приготовления образцов уплотнителем Маршалла. Введ. 2019-06-01. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

7. Кирюхин, Г.Н. Способы структурного регулирования минеральной части асфальтобетона // Дороги и мосты. 2015. № 1(33). С. 297–319.

УДК 528.5

Бак. А.С. Нохрина  
Рук. С.А. Чудинов  
УГЛТУ, Екатеринбург

## **ТЕХНОЛОГИЯ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТАХ**

Технологии лазерного сканирования на сегодняшний день делятся на три вида: наземное (НЛС), мобильное (МЛС или мобильное картографирование) и воздушное (ВЛС). Наземное лазерное сканирование считается самым быстрым и высокопроизводительным средством получения точной и наиболее полной информации о пространственном объекте сложной формы: зданиях, промышленных сооружениях и площадках, памятниках архитектуры, смонтированном технологическом оборудовании [1].

Суть технологии сканирования заключается в определении пространственных координат объекта лазерным сканером. Процесс реализуется с помощью измерения углов и расстояний до всех определяемых точек с помощью измерений лазерным лучом до отражающих поверхностей с нескольких точек сканирования путем перестановки прибора. Измерения производятся с очень высокой скоростью. Наиболее современные лазерные сканеры производят измерения со скоростью от одного миллиона точек в секунду (рис. 1).



*Рис. 1. Лазерный сканер Trimble TX8, позволяющий выполнять измерения с миллиметровой точностью и скоростью до 1 млн точек в секунду*